



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

MARCONI DE SOUZA MENEZES

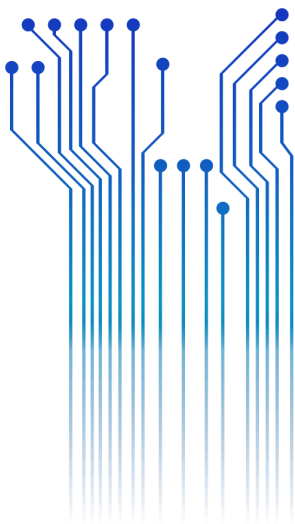


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
RESIDENCIAL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
Julho de 2019

MARCONI DE SOUZA MENEZES

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, 2019

MARCONI DE SOUZA MENEZES

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Leimar de Oliveira, M. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ivan Menezes e Marly de Souza, assim como meus irmãos, Marcelo, Manuela e Marcos, pelo apoio e carinho incondicional, por estarem sempre presentes nos momentos mais difíceis e maravilhosos da minha vida.

Agradeço aos meus amigos, por todos momentos de superação e descontração que vivemos, sem vocês nada disso seria possível, obrigado por tudo.

Agradeço ao professor orientador, Leimar de Oliveira, por colaborar com este relatório e ao mesmo tempo, pela simpatia e zelo por todos.

Agradeço todos os professores que deram uma grande contribuição para minha formação, em especial aos professores Leimar de Oliveira, Edgar Roosevelt, Ubirajara Meira, Roberto Siqueira, Francisco das Chagas, Carlos Alberto Rocha, Washington Neves e Montiê Vitorino, que além de excelentes profissionais, são pessoas inspiradoras.

Agradeço também ao coordenador do curso de Engenharia Elétrica, Mário Araújo, e aos funcionários do departamento, Adail Ferreira e Tchaikowsky Oliveira, por serem tão receptivos e prestativos com todos alunos do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.

“Algumas questões devem ficar sem resposta”
Edson Américo

RESUMO

Com o grande crescimento de estudos na área de eficiência energética e qualidade de energia, o trabalho em questão tem como objetivo principal analisar a viabilidade do desenvolvimento de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Foram realizados estudos sobre energia solar e suas aplicações. Antes de realizar o dimensionamento foi necessário obter o conhecimento sobre os componentes que seriam necessários. Após o dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial foi realizada a análise de viabilidade econômica e concluiu-se que projeto é viável.

Palavras-chave: 1. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2. Painéis fotovoltaicos. 3. Energia solar.

ABSTRACT

With the largest number of studies in the area of energy efficiency and power quality, this work has as main objective the viability of a photovoltaic system project connected to the electric grid. Studies have been conducted on solar energy and its applications. Prior to sizing, it was necessary to know the components that would be needed. After sizing the residential photovoltaic system an economic feasibility analysis was performed and it was concluded that the project is viable.

Keywords: 1. Photovoltaic Systems Connected to the Network. 2. Photovoltaic panels.
3. Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Irradiação Horizontal diária média de 1999-2015	16
Figura 2 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	17
Figura 3 - Célula fotovoltaica.....	18
Figura 4 - Possíveis aplicações do diodo Bypass em uma ou mais células	19
Figura 5 - Materiais utilizados na fabricação de um módulo fotovoltaico	20
Figura 6 - Moldura de alumínio de um módulo fotovoltaico	21
Figura 7 - Vidro especial de um módulo fotovoltaico	21
Figura 8 - Filme encapsulante EVA	22
Figura 9 - BackSheet de um módulo fotovoltaico	23
Figura 10 - Caixa de junção para módulo fotovoltaico.....	23
Figura 11 - Símbolo de representação do módulo fotovoltaico	24
Figura 12 - Associação em série de módulos fotovoltaicos	24
Figura 13 - Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos	25
Figura 14 - Associação em série e paralelo de módulos fotovoltaicos.....	25
Figura 15 - Inversor solar do fabricante ABB	26
Figura 16 - String Box CLAMPER Solar 15 a 2e/2s	27
Figura 17 - Dimensionamento das categorias de atendimento extraído da NDU 001.....	28
Figura 18 - Módulo fotovoltaico CS6U-335P da Canadian Solar	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo da eficiência entre células fotovoltaicas de diversos materiais.....	18
Tabela 2 - Valores da irradiação solar diária média mensal para o local escolhido.....	29
Tabela 3 - Dados do módulo fotovoltaico CS6U-335P da Canadian Solar	30
Tabela 4 - Lista de Materiais.....	33
Tabela 5 - Estimativa mensal de geração em kWh por mês	33
Tabela 6 - Valor total do projeto	34
Tabela 7 - Fluxo de caixa do projeto durante 10 anos	34
Tabela 8 - Valores atuais dos retornos anuais	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	ampère
ABB	Asea Brown Boveri
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EVA	Acetato-Vinilo de Etileno
FV	Fotovoltaico
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
m ²	metro quadrado
mm	milímetro
NDU	Norma de Distribuição Unificada
NOCT	Temperatura Normal de Operação da Célula
REN	Resolução Normativa
STC	Condições de Teste Padrão
String Box	Caixa de corda
t	tempo
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UV	ultravioleta
V	volt
VA	volt ampère
VPL	Valor Presente Líquido
W	watt

SUMÁRIO

1	Introdução	13
1.1	Objetivos	14
1.2	Estrutura do Trabalho	14
2	Fundamentação Teórica	15
2.1	A Energia Emitida pelo Sol	15
2.2	Irradiância e Radiação Solar	16
2.3	O Efeito Fotovoltaico	17
2.4	Células Fotovoltaicas	18
3	Componentes de um Sistema Fotovoltaico Residencial	20
3.1	Módulos Fotovoltaicos	20
3.1.1	Conexão entre Módulos Fotovoltaicos	24
3.1.1.1	Conexão em Série entre Módulos Fotovoltaicos	24
3.1.1.2	Conexão em Paralelo entre Módulos Fotovoltaicos	25
3.1.1.3	Conexão em Série e Paralelo entre Módulos Fotovoltaicos	25
3.2	Inversores	26
3.3	String Box	26
3.4	Medidor de Energia Bidirecional	27
4	Dimensionamento e Análise Econômica de um Sistema Fotovoltaico Residencial	28
4.1	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	29
4.2	Dimensionamento do Inversor	32
4.3	Dimensionamento dos Cabos CC	32
4.4	Lista de Materiais	33
4.5	Estimativa Mensal de Geração	33
4.6	Análise da Viabilidade Econômica	34
4.7	VPL – Valor Presente Líquido	35
4.8	Taxa Interna de Retorno – TIR	36
4.9	Payback	36
5	Conclusão	37
	Bibliografia	38

1 INTRODUÇÃO

Há uma crescente necessidade do sistema elétrico brasileiro de diversificar a sua matriz energética de forma a reduzir a dependência das fontes de energia provenientes de hidroelétricas e combustíveis fósseis, e também há uma necessidade de aumentar a segurança energética, ou seja, ser menos independente. Das fontes de energias renováveis disponíveis, a energia solar e eólica são as mais usadas ao redor do mundo. Existem três fatores que fazem a energia solar, em particular, mais adequada para ser adotada para a geração de energia elétrica no Brasil tais como baixa dos preços dos painéis e inversores, alta nos preços das tarifas elétricas, e a imensa disponibilidade do recurso solar. (DE MARTINO JANNUZZI et. al, 2013)

A radiação solar característica presente no Brasil (1500 - 2500 kW/m²/ano) é muito maior que na Alemanha (900 – 1250 kW/m²/ano) ou Espanha (1200-1850 kW/m²/ano) que são países que lideram na geração de energia solar (MARTINS, et. al, 2007).

Devido ao constante aumento no preço da energia elétrica e a redução no preço dos painéis e módulos, a energia solar vai se tornando uma das mais promissoras fontes de energia. Mas não apenas por estes fatores citados, existe também a necessidade da diversificação da matriz energética do país e aumentar a segurança energética pela redução da dependência em hidroelétricas fazem com que a energia solar seja uma das fontes mais adequadas e promissoras para a revolução em fontes renováveis no Brasil.

Com o intuito de introduzir e estimular o uso de energias renováveis na matriz energética brasileira, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, 2012) estipulou a normativa resolutiva 482, em 2012. Essa normativa regula a micro e mini geração para geração distribuída no sistema brasileiro. O sistema implementado no Brasil é o de Sistema de Compensação de Energia Elétrica, também conhecido como net metering. Em 2017, a potência instalada considerando a geração distribuída usando sistemas fotovoltaicos era de 91 MW com 11.3 mil plantas solares com as quais o potencial de energia solar não está ainda explorado pelo mercado brasileiro (ANNEL, 2017).

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho de conclusão de curso é realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica e aplicar as técnicas de engenharia econômica para análise da viabilidade econômica. Serão apresentadas as características e funcionalidades dos principais componentes de um sistema solar on-grid, em conjunto com novas tecnologias e ferramentas que podem auxiliar nas discussões sobre o tema.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 é introdutório, é feita uma contextualização do trabalho, define os objetivos e apresenta a organização do relatório.

No Capítulo 2 são abordados temas indispensáveis para a compreensão tema e a elaboração deste relatório. Sendo tratados breves introdução à respeito da energia solar, efeito fotovoltaico e células fotovoltaicas

No Capítulo 3 será mostrado um breve resumo sobre cada componente que será dimensionado no capítulo seguinte.

No Capítulo 4 são apresentados os métodos utilizados para realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial e as técnicas utilizadas para análise da viabilidade econômica.

O Capítulo 5 contém a conclusão, onde são apresentadas as considerações finais sobre este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a compreensão do presente trabalho, serão abordados neste Capítulo alguns tópicos relevantes que foram úteis para o entendimento do tema, desenvolvimento e produção deste relatório. Neste Capítulo se faz presente uma breve introdução a respeito da transformação da energia solar em energia elétrica e os equipamentos que em conjunto tornam esta transformação possível para aplicação em sistema fotovoltaico residencial.

2.1 A ENERGIA EMITIDA PELO SOL

O Sol, fora a responsabilidade pela manutenção da vida no planeta, é considerada a principal fonte de energia para a Terra suprimindo a energia necessária aos sistemas e ciclos globais, de tal forma que o potencial de aproveitamento de tal recurso é enorme e pode ser utilizado de forma direta e indireta por meios de sistemas de captação e conversão em outros tipos de energia.

Deve-se perceber que é a partir da radiação solar que ocorre a evaporação, a indução dos ventos, o desenvolvimento da matéria orgânica e dos combustíveis fósseis. Portanto, quase todas as outras fontes de energia são formas indiretas da energia solar. Já a energia térmica, utilizada no aquecimento de fluidos e ambientes, e a energia elétrica são formas de utilização direta do recurso solar, por meio de efeitos, como os efeitos termoelétrico e fotovoltaico, sobre determinados materiais.

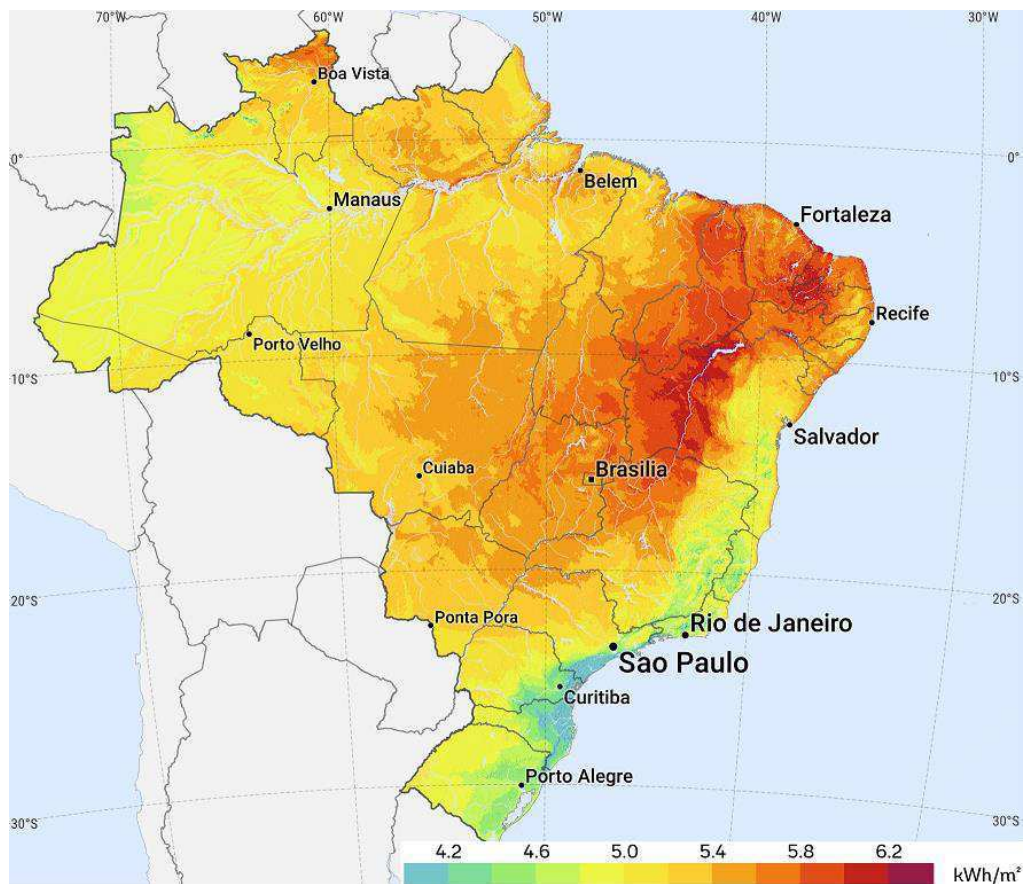
A quantidade de energia recebida num determinado local geográfico varia no tempo: entre o dia e a noite devido à rotação da Terra e entre as estações por causa da órbita da Terra. E em um determinado momento também varia no espaço, por causa das mudanças na obliquidade dos raios solares variando de acordo com a longitude e latitude. Assim, a quantidade de energia recebida em um determinado local e tempo depende da posição relativa do Sol e da terra. É por isso que ambos a geometria e o tempo do Sol e Terra desempenham um papel importante na conversão da energia solar e sistemas fotovoltaicos [VILLALVA M. G.; GAZOLI 2013].

2.2 IRRADIÂNCIA E RADIAÇÃO SOLAR

Irradiância se refere a quantidade de energia luminosa emitida de um ponto para outro. Os fótons que carregam essa energia têm comprimentos de onda que podem variar de raios-X e raios gama ao infravermelho. Trata-se de uma medida de potência por área, medida em W/m^2 (watt por metro quadrado). Na superfície da terra a irradiância da luz solar é tipicamente em torno de $1000W/m^2$, sendo este valor adotado como padrão na indústria fotovoltaica para especificação de instrumentos. Essa medida é muito útil para medir a eficiência de dispositivos e sistemas fotovoltaicos [ABB Company 2014].

A radiação Solar, também conhecida por insolação, é a quantidade de energia solar que incide sobre uma determinada superfície durante um certo período de tempo e é medido em Wh ou kWh por metro quadrado (Wh/m^2 ou kWh/m^2). Como a energia é expressa como potência ao longo do tempo ($P \times t$), a radiação solar é a irradiação ao longo de um determinado tempo.

Figura 1 - Mapa de Irradiação Horizontal diária média de 1999-2015

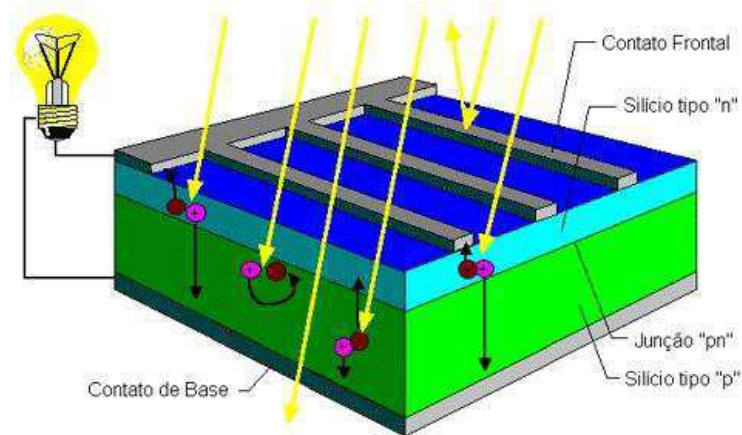


Fonte: <http://globalsolaratlas.info/>

2.3 O EFEITO FOTOVOLTAICO

Este efeito ocorre em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente "vazia" (banda de condução).

Figura 2 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB. 2008

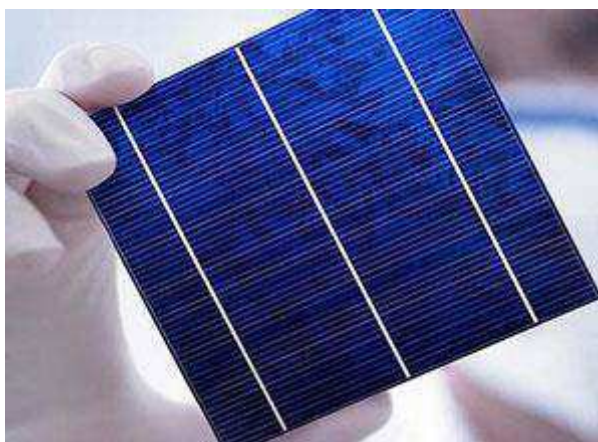
Segundo Câmara (2011), o silício é o semicondutor mais utilizado. Os átomos do silício se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Se for feita a dopagem do material com elementos como o fósforo, que possui 5 elétrons de ligação, haverá um elétron sobrando que não poderá ser emparelhado e que ficará ligado fracamente a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante tipo n.

Porém, caso o material seja dopado com elementos que possuem apenas três elétrons de ligação, como o boro, haverá falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada lacuna. Com pouca energia térmica, um elétron de uma região vizinha pode passar a ocupar esta posição, fazendo com que a lacuna se desloque. Diz-se portanto, que o boro é um dopante tipo p (CÂMARA, 2011).

2.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A célula fotovoltaica é o elemento básico na composição do módulo fotovoltaico, sendo responsável pela conversão da energia radiante do Sol em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Geralmente as células fotovoltaicas se apresentam em forma de pequenos retângulos como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Célula fotovoltaica



Fonte: <https://casasolarcachoeiro.com.br/>.

Houve um grande avanço na produção de células fotovoltaicas, mesmo com a diminuição de custos a eficiência ainda é considerada baixa. Atualmente existem diversas pesquisas com o objetivo de confeccionar células fotovoltaicas com baixos custos de fabricação, alta durabilidade e maior eficiência na conversão de radiação solar em energia elétrica. Na Tabela 1, é possível observar a eficiência de algumas células fotovoltaicas de acordo com o material utilizado na sua confecção.

Tabela 1 - Comparativo da eficiência entre células fotovoltaicas de diversos materiais

Material	Eficiência		
	Máxima Teórica	Em laboratório	Produção em série
Silício Mono	24,7 %	18 %	14 %
Silício Poli	19,8 %	15 %	13 %
Silício Amorfo	15 %	10,5 %	7,5 %
CIGS	18,8 %	14 %	10 %
CdTe	16,4 %	10 %	9 %

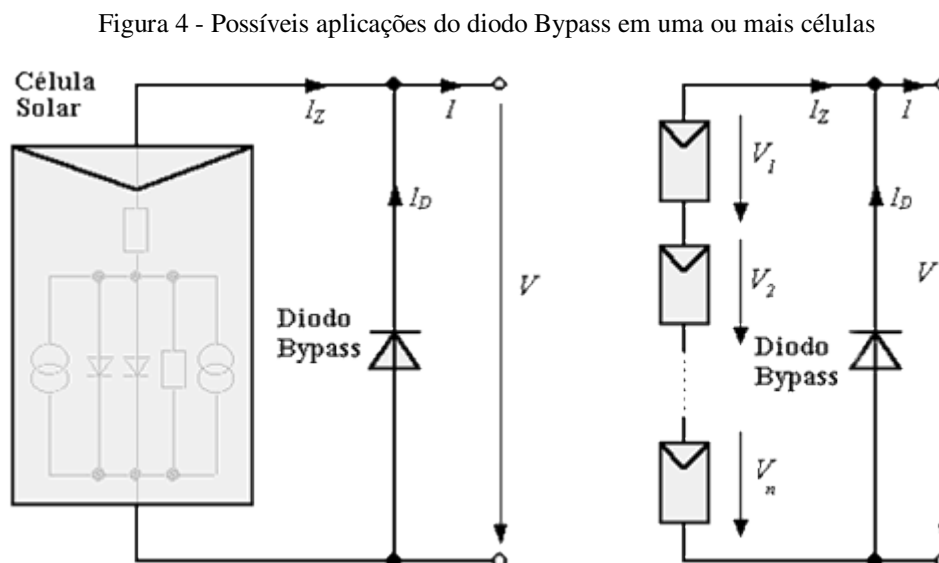
Fonte: GreenPro.

Existem atualmente diversas tecnologias para fabricar células de diferentes tipos. As mais comuns encontradas no mercado são de silício monocristalino, policristalino e a do filme fixo de silício. Há também as de silício amorfo, micromorfo, célula solar híbrida [VILLALVA M. G.; GAZOLI 2013].

Com o agrupamento de diversas células fotovoltaicas são construídos os módulos fotovoltaicos, cada célula tem grandezas elétricas bem específicas, em geral apresentam uma tensão muito baixa podendo chegar aos 0,7 V e corrente máxima de 3 A, com isto é necessário realizar a associação das células fotovoltaicas em série ou paralelo para chegar em valores desejáveis para sua aplicação.

A conexão mais comum entre células fotovoltaicas é feita em série com o objetivo de se obter tensões maiores, logo, para este tipo de conexão é necessário que exista um componente que permita o funcionamento da geração de energia caso haja falha parcial (encoberta por algo) ou total em uma ou mais células, geralmente é utilizado o diodo de passo (diodo Bypass) servindo como caminho alternativo para a corrente sem interferir totalmente no funcionamento do módulo fotovoltaico.

A Figura 4 mostra dois casos da utilização do diodo Bypass na conexão de células fotovoltaicas, no primeiro caso o diodo é utilizado em apenas uma célula, no segundo caso o diodo é utilizado em um agrupamento de células conectadas em série tornando assim mais barato os custos e menos eficiente na geração de energia elétrica se comparado ao primeiro caso.



Fonte: CRESESB, 2008.

3 COMPONENTES DE UM SISTEMA

FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

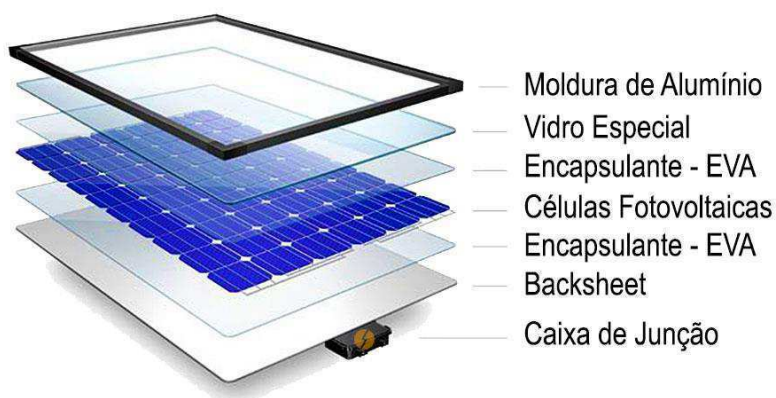
Este Capítulo trata dos componentes principais que compõe um sistema fotovoltaico residencial, serão descritas as finalidades de cada um e em alguns casos o melhor posicionamento para aproveitamento da energia solar, segurança e conformidade com as normas.

3.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico é o componente mais conhecido quando se fala em sistemas fotovoltaicos, sendo responsável através de suas células fotovoltaicas pela transformação da energia emitida pelo Sol em energia elétrica de corrente contínua, na Figura 5 é possível observar os materiais que compõe um modulo fotovoltaico. O conjunto de um ou mais módulos fotovoltaicos é denominado de painel fotovoltaico, estes encontram-se interligados eletricamente formando uma estrutura única.

O local de instalação dos módulos fotovoltaicos depende da quantidade de módulos, disponibilidade de espaço e finalidade, geralmente em sistemas fotovoltaicos residenciais os painéis fotovoltaicos são instalados no telhado, com isso, acaba não comprometendo de forma alguma a área útil destinada aos moradores.

Figura 5 - Materiais utilizados na fabricação de um módulo fotovoltaico

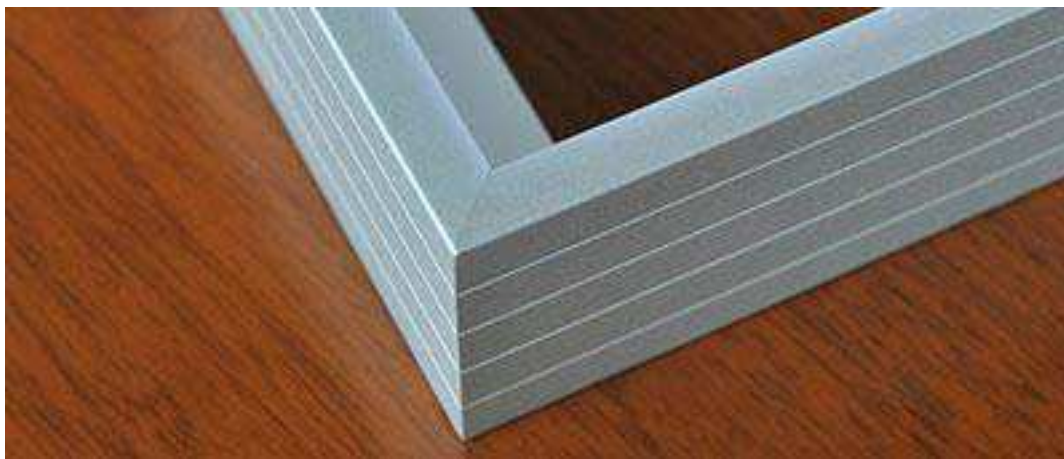


Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>.

Os materiais apresentados na Figura 5 tem a finalidade de garantir maior rigidez e eficiência aos módulos fotovoltaicos, dentre eles:

1. Moldura de alumínio – como mostrado na Figura 6, a moldura também é conhecida como *frame*, fica em volta do módulo fotovoltaico e serve para dar robustez e proteção aos componentes internos que são mais frágeis durante o transporte e instalação, garantindo maior resistência e durabilidade dos módulos.

Figura 6 - Moldura de alumínio de um módulo fotovoltaico



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>.

2. Vidro especial – É um vidro temperado especial como mostrado na Figura 7, com espessura entre 3,2 e 4,0 mm, revestido com uma substância antirreflexiva, com isso, ocorre uma diminuição da reflexão da luz solar incidente garantindo um maior aproveitamento;

Figura 7 - Vidro especial de um módulo fotovoltaico



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>.

3. Encapsulante (EVA) – É uma película encapsulante como mostrado na Figura 8, conhecida como EVA, acetato-vinilo de etileno (que deriva do inglês: *Ethylene Vinyl Acetat*), tem a função de proteger as células fotovoltaicas contra o envelhecimento causado por raios UV, temperaturas extremas e umidade, assegurando que o máximo luz visível atinja as células solares;

Figura 8 - Filme encapsulante EVA



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

4. Células fotovoltaicas - São fabricadas, em grande parte, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo;
 - Silício Monocristalino: A célula de silício monocristalino é historicamente as mais usadas e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído;
 - Silício Policristalino: As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino;
 - Silício Amorfo: Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação.

5. BackSheet – É uma película branca como mostrado na Figura 9, fica na parte traseira do módulo fotovoltaico. Tem como função principal proteger os componentes internos do painel solar, especificamente as células fotovoltaicas agindo como um isolante elétrico;

Figura 9 - BackSheet de um módulo fotovoltaico



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

6. Caixa de junção – É considerado um "gabinete" que fica na parte posterior do painel solar onde as strings (células fotovoltaicas interconectadas em série) estão conectadas eletricamente. Dentro da caixa existem diodos de by-pass que vão garantir a segurança e o bom funcionamento do painel solar. As caixas de junção possuem cabos e conectores especiais (geralmente utilizam os conectores MC4 ou MC3) que serão utilizados para interconectar os painéis solares quando instalados.

Figura 10 - Caixa de junção para módulo fotovoltaico

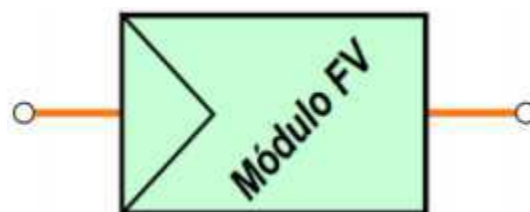


Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/>

3.1.1 CONEXÃO ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Ao se projetar sistemas fotovoltaicos, é necessário atentar para as conexões em série e/ou paralelo entre os módulos, é de extrema importância que a tensão final do arranjo seja compatível com o equipamento ao qual os painéis serão ligados. Em sistemas conectados à rede, o componente que precede os painéis é o inversor, este possui uma variedade de tensões compatíveis, o dimensionamento do inversor deve ser feito após a obtenção do arranjo final dos módulos fotovoltaicos.

Figura 11 - Símbolo de representação do módulo fotovoltaico



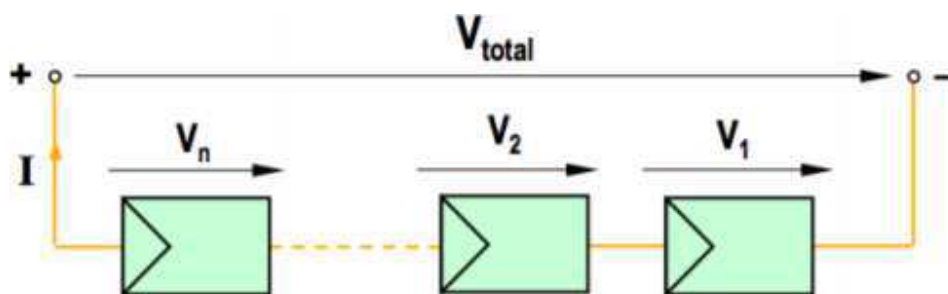
Fonte: CARNEIRO, 2010.

3.1.1.1 CONEXÃO EM SÉRIE ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Neste tipo de conexão, o arranjo deve ser feito com módulos fotovoltaicos iguais para minimizar as perdas de potência do sistema. A tensão de saída V_{total} será a soma das respectivas tensões de cada módulo ($V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$), enquanto a corrente final do arranjo será igual à que passa por cada módulo ($I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$).

A associação em série de módulos fotovoltaicos, como mostrado na Figura 12, é feita com a intenção de obter tensões mais elevadas mantendo a corrente individual de cada módulo. Esta associação geralmente é feita em sistemas conectados à rede.

Figura 12 - Associação em série de módulos fotovoltaicos

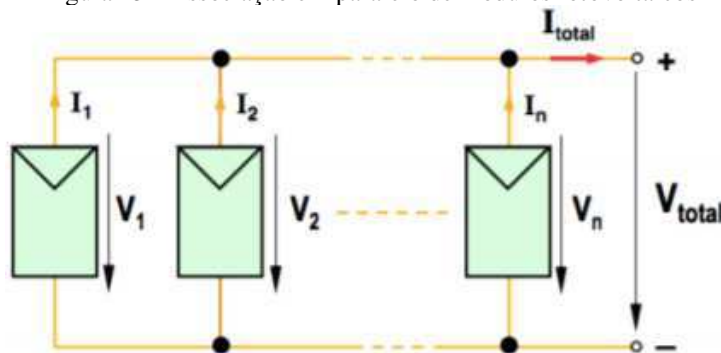


Fonte: CARNEIRO, 2010.

3.1.1.2 CONEXÃO EM PARALELO ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Este tipo de conexão entre módulos fotovoltaicos é geralmente utilizada em sistemas autônomos, onde não há conexão com a rede elétrica. Como mostrado na Figura 13, é totalmente o oposto da conexão em série, enquanto a tensão de saída V_{total} é igual a respectiva tensão de cada módulo ($V_{total} = V_1 = V_2 = \dots = V_n$), a corrente final do arranjo é equivalente a soma da corrente de cada módulo ($I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$).

Figura 13 - Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos

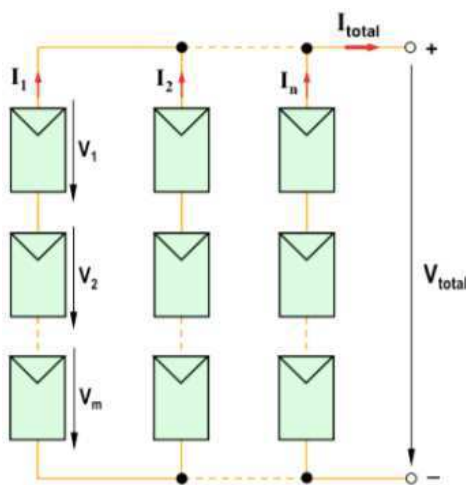


Fonte: CARNEIRO, 2010.

3.1.1.3 CONEXÃO EM SÉRIE E PARALELO ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Este tipo de conexão é utilizado em sistemas conectados à rede quando se deseja alcançar níveis maiores de potência. Como mostrado na Figura 14, a união das conexões em série e paralelo de módulos fotovoltaicos permite obter valores elevados de tensão ($V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$) e corrente de saída ($I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$).

Figura 14 - Associação em série e paralelo de módulos fotovoltaicos



Fonte: CARNEIRO, 2010.

3.2 INVERSORES

O inversor é o equipamento que tem a responsabilidade de transformar a corrente contínua (DC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (AC), conectado diretamente à String Box, e através da mesma, se conecta ao quadro de distribuição de dargas.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação a partir do momento em que os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteção de conexão dos inversores não permite que o equipamento funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de queda da rede elétrica, o sistema para de funcionar.

Figura 15 - Inversor solar do fabricante ABB



Fonte: new.abb.com

3.3 STRING BOX

As String Boxes tem a finalidade de receber todas as conexões dos circuitos de corrente contínua vindos do painel fotovoltaico, contém dispositivos de proteção, formados por chaves seccionadoras, fusíveis, disjuntores e dispositivos de proteção contra surtos (DPSs), produzindo uma saída (CC) devidamente protegida que se conecta à entrada CC do inversor.

Muitas vezes a saída (CA) do Inversor de Energia retorna para a mesma String Box, e através de Disjuntores (CA) e DPSs, seguem para os circuitos de distribuição de energia do local.

Figura 16 - String Box CLAMPER Solar 15 a 2e/2s



Fonte: <https://helte.com.br/>

3.4 MEDIDOR DE ENERGIA BIDIRECIONAL

O sistema de medição de energia utilizado para compensação de energia será do tipo bidirecional, este medidor deve ser instalado na caixa de medição de entrada, e é capaz de registrar o consumo e a geração de energia injetada na rede elétrica. O medidor bidirecional é certificado pelo INMETRO, fornecido e instalado pela distribuidora.

4 DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL

Este Capítulo irá abordar o dimensionamento de cada componente e análise econômica de um sistema fotovoltaico residencial, supondo valores iniciais de demanda e consumo médio mensal durante o período de um ano. A cidade de Campina Grande, localizada no estado da Paraíba foi escolhida para o uso de dados extraídos do site da CRESESB sobre a irradiação solar.

Considerando uma residência com alimentação trifásica realizada pela distribuidora ENERGISA – PB e com demanda abaixo de 24 kW, conforme a NDU 001 é possível observar que esta unidade consumidora se encaixa na categoria T1, como mostrado na Figura 17.

Para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial em questão, será atribuído o valor do consumo médio mensal de 500 kWh.

Figura 17 - Dimensionamento das categorias de atendimento extraído da NDU 001

TABELA 15 - DIMENSIONAMENTO DAS CATEGORIAS DE ATENDIMENTO 380/220V

Energisa Borborema, Energisa Nova Friburgo, Energisa Sergipe, Energisa Paraíba, Energisa Tocantins e Energisa Mato Grosso.

CATEGORIA	N.º DE FIOS	N.º DE FASES	DEMANDA (kW)	CARGA INSTALADA (kW)	CONDUTORES (mm ²)					HASTE PARA ATERRAMENTO AÇO COBRE	DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO (Limite Máximo (A))	ELETRODUTO DE PVC RÍGIDO (mm)	ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO (mm)	POSTE (5 ou 7 metros)		PONTALET E		
					RAMAL DE LIGAÇÃO MÚLTIPLEX (ALUMÍNIO)	RAMAL DE LIGAÇÃO CONCENTRICO (ALUMÍNIO)	RAMAL DE ENTRADA PARALELO E SUBTERRÂNEO (COBRE PVC 70°C)	RAMAL DE ENTRADA PARALELO E SUBTERRÂNEO (COBRE EPI/XLPE/PEPR 90°C)	ATERRAMENTO (COBRE)					POSTE DT (din)	POSTE TUBO DE AÇO GALVANIZADO (φ - mm)			
MONOFÁSICO	M1	2	1	-	0 < C ≤ 6,0	1x1x10+10	2x10	6(6)	6(6)	6	1H 16X2400	30/32	25	20	150	80	80x80	40
	M2	2	1	-	6,0 < C ≤ 11,0	1x1x10+10	2x10	10(10)	10(10)	10	1H 16X2400	50	25	20	150	80	80x80	40
	M3	2	1	-	11,0 < C ≤ 15,4	1x1x16+16		16(16)	16(16)	10	1H 16X2400	70	25	25	150	80	80x80	40
BIFÁSICO	B1	3	2	-	0 < C ≤ 17,6	2x1x10+10		2#10(10)	2#6(6)	6	1H 16X2400	40	32	25	150	80	80x80	50
	B2	3	2	-	17,6 < C ≤ 22,0	2x1x16+16		2#10(10)	2#10(10)	10	1H 16X2400	50	32	25	150	80	80x80	50
	B3	3	2	-	22,00 < C ≤ 26,30	2x1x25+25		2#16(16)	2#16(16)	16	1H 16X2400	70	40	40	150	80	80x80	50
TRIFÁSICO	T1	4	3	0 < D ≤ 24,00	0 < C ≤ 75	3x1x10+10		3#10(10)	3#6(6)	6	H 16X2400	40	32	32	150	80	80x80	50
	T2	4	3	24,01 < D ≤ 30,00		3x1x16+16		3#10(10)	3#10(10)	10	H 16X2400	50	32	32	150	80	80x80	50
	T3	4	3	30,01 < D ≤ 42,39		3x1x25+25		3#25(25)	3#16(16)	10	H 16X2400	70	40	40	150	100	90x90	50
	T4	4	3	42,40 < D ≤ 60,54		3x1x35+35		3#35(35)	3#25(25)	16	H 16X2400	100	50	50	300	100	90x90	50
	T5	4	3	60,55 < D ≤ 75,00		3x1x70+70		3#70(35)	3#50(35)	25	H 16X2400	125	65	75	600			

Fonte: Energisa, 2017

4.1 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Utilizando a irradiação solar diária média mensal (em kWh/m².dia) de um determinado local e dados do módulo fotovoltaico presentes no datasheet como eficiência e dimensões do módulo para se obter a área do mesmo, torna-se possível obter uma estimativa da energia produzida diariamente por este módulo em kWh/dia. O cálculo utilizado é o seguinte:

$$E_m = E_s \cdot A_m \cdot \eta_m \quad (4.1)$$

Em que:

E_m : Energia produzida diariamente por um módulo FV em kWh/dia;

E_s : Irradiação diária em kWh/m².dia;

A_m : Área do módulo FV em m²;

η_m : Eficiência do módulo FV.

Para encontrar a irradiação solar diária média mensal foi utilizado o SunData v3.0 disponível no site da CRESESB, considerando a localização de latitude 7,201° S e longitude 35,949° O, foram obtidos os valores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores da irradiação solar diária média mensal para o local escolhido

#	Angle	Slope	Monthly average daily solar radiation [kWh/m ² .day]												Average	Delta
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec		
✓	Plano Horizontal	0°N	5.85	5.90	5.95	5.35	4.66	4.12	4.24	5.01	5.66	5.97	6.19	5.97	5.40	2.07
✓	ângulo igual a latitude	7°N	5.61	5.75	5.95	5.49	4.88	4.36	4.46	5.19	5.71	5.87	5.95	5.68	5.41	1.59
✓	Maior média anual	4°N	5.72	5.82	5.96	5.44	4.79	4.26	4.37	5.12	5.70	5.92	6.06	5.81	5.41	1.79
✓	Maior mínimo mensal	24°N	4.80	5.17	5.67	5.58	5.21	4.74	4.80	5.38	5.59	5.37	5.14	4.79	5.19	0.93

Fonte: CRESESB,2019

Após encontrar o valor de E_m com a Equação 4.1, para encontrar o número de módulos fotovoltaicos, deve-se utilizar a Equação 4.2.

$$N_p = \frac{E_d}{E_m} \quad (4.2)$$

Em que:

N_p : Número de módulos fotovoltaicos;

E_d : Consumo médio diário em kWh/dia;

E_m : Energia produzida diariamente por um módulo FV em kWh/dia.

Para dar início aos cálculos, é necessário realizar a escolha do módulo fotovoltaico que será utilizado no projeto e extrair os dados do seu datasheet que serão úteis para definir a quantidade de módulos deste modelo. O módulo escolhido trata-se do modelo CS6U-335P da Canadian Solar, como mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Módulo fotovoltaico CS6U-335P da Canadian Solar



Fonte: CANADIAN SOLAR, 2019

Na Tabela 3 estão alguns dados do módulo fotovoltaico escolhido retirados do datasheet em pesquisa feita no site da Canadian Solar.

Tabela 3 - Dados do módulo fotovoltaico CS6U-335P da Canadian Solar

Dados Gerais	
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Modelo	MODULO CANADIAN SOLAR 72 CELLS 335W POLY-SI-1500V-KU
Tipo de célula	Polycrystalline
Número de células	72
Tipo de conexão	mc4
Comprimento	1,96 m
Largura	0,992 m
Altura	0,04 m
Dados do STC	
Potência	335 W
Tensão de Operação (Vmp)	37,4 V
Corrente de Operação (Imp)	8,96 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	45,8 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	9,54 A
Eficiência	17,23 %

Fonte: CANADIAN SOLAR, 2019

Para que não haja risco do sistema em questão injetar na rede elétrica uma quantidade de energia insuficiente para a compensação, para a realização dos cálculos foi considerado o valor da irradiação no plano horizontal para o mês de junho, valor extraído da Figura 18, que representará no menor valor possível de geração.

A partir dos valores dados pela Tabela 2, pode-se obter que o valor da área do módulo é de 1,944 m² e a eficiência é de 17,23%. Com base nestes dados será encontrado o valor de E_m , que representa o valor em kWh produzido diariamente por um único módulo FV.

$$E_m = E_s \cdot A_m \cdot \eta_m = 4,12 \times 1,944 \times 0,1723 \cong 1,38 \text{ kWh/dia} \quad (4.3)$$

Como a distribuidora Energisa-PB cobra o equivalente a 100 kWh para unidades consumidoras do grupo B com padrão trifásico referente ao custo de disponibilidade, para encontrar o valor que necessita ser gerado diariamente, será subtraído do valor do consumo médio mensal este valor e dividido por 30 dias.

$$E_d = \frac{C_m - \text{Custo disponibilidade}}{30 \text{ dias}} = \frac{500 \text{ kWh} - 100 \text{ kWh}}{30 \text{ dias}} = 13,33 \text{ kWh/dia} \quad (4.4)$$

Com os valores encontrados, agora é possível encontrar o número de módulos FV modelo CS6U-335P devem ser utilizados no projeto.

$$N_p = \frac{E_d}{E_m} = \frac{13,33 \text{ kWh/dia}}{1,38 \text{ kWh/dia}} = 9,66 \cong 10 \text{ módulos FV} \quad (4.5)$$

Os cálculos acima para encontrar a quantidade de módulos fotovoltaicos valem somente se for levado em consideração que os módulos serão instalados em local que não corra o risco de sombreamento (caso não seja possível, deve ser feito um sobredimensionamento), os módulos devem ficar inclinados com ângulo de 10° direcionado para o norte geográfico. Valores abaixo 10° não são recomendados devido ao acúmulo de sujeira sobre o módulo, causando a diminuição do seu aproveitamento, já as inclinações que superem este valor, favorecem a autolimpeza em dias chuvosos e com o próprio vento. Considerando que neste caso específico, os telhados possuem inclinação de 14°, então, na prática este valor é aceito e utilizado para a colocação de toda a estrutura com os módulos.

Para realizar o dimensionamento do inversor será considerado que o arranjo fotovoltaico é formado pelos 10 módulos ligados em série.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Para escolha do inversor inicialmente foi calculado o fator de dimensionamento do inversor (FDI) de diversos equipamentos, que é a razão entre a potência nominal do inversor e a potência máxima do gerador fotovoltaico. Especialistas definem uma faixa de potência do inversor de 75% a 120% da potência nominal do gerador solar, logo, o inversor deve apresentar o FDI entre 0,75 e 1,2 para que não leve o sistema a perder potência seja por subdimensionamento ou por sobredimensionamento do inversor.

Para este projeto em específico, os geradores fotovoltaicos apresentam potência máxima de 3,35 kWp, através de uma pesquisa no mercado foi selecionado o inversor da ABB modelo UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB, resultando no FDI de 1,04.

4.3 DIMENSIONAMENTO DOS CABOS CC

De acordo com (ROSA; SANTOS, 2016), a corrente suportada pelo cabeamento CC deve ser maior ou igual à corrente de curto-circuito em condições de teste padrão (STC) dos módulos multiplicada pelo fator 1,25. Além disso, a equação 4.6 mostra matematicamente como deve ser calculada a seção mínima do condutor CC.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\rho \cdot e \cdot U^2} \quad 4.6$$

Em que:

S : Seção mínima do cabo em mm^2 ;

L : Comprimento dos cabos em m ;

P : Potência do sistema em w

ρ : condutividade elétrica do cobre ($56m/\Omega \cdot mm^2$)

e : queda de tensão (1%);

U : Tensão de trabalho em V .

Através das formas citadas acima para o dimensionamento de cabo, foram encontrados valores abaixo da seção do cabo de conexão presente no módulo fotovoltaico escolhido que é de 4 mm^2 , tornando inseguro o uso de uma seção menor, logo, devido a quantidade de módulos presente no sistema e por questões de segurança serão utilizados cabos solares de 6 mm^2 .

4.4 LISTA DE MATERIAIS

Após ser realizado o dimensionamento, foi obtida a lista de materiais, como mostrado na Tabela 4, com a descrição de cada componente necessário para a execução da obra e a respectiva quantidade em número de peças ou pelo tamanho em metros (m).

Tabela 4 - Lista de Materiais

Descrição dos Materiais	Qtd
MODULO FV CANADIAN 72 CELLS 335W POLY 1500V F16	10 pçs
INVERSOR UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB COM WI-FI	1 pç
STRING BOX SICES_ONESTO - 2 CORDAS E 2 SAIDAS	1 pç
Sices Solar 2.0 Perfil Ceramic Rooftop 2,10 metros	10 pçs
Sices Solar 2.0 Junção Ceramic Rooftop	8 pçs
Sices Solar 2.0 Terminal Final 35mm	4 pçs
Sices Solar 2.0 Terminal Intermediario 35mm	18 pçs
SICES SOLAR PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15	14 pçs
SICES SOLAR PORCA M10 INOX A2	14 pçs
SICES SOLAR 2.0 - GANCHO TUBULAR DE ALUMÍNIO	14 pçs
CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou	1 pç
CONECTORES FEMEA/ MACHO WEID_CABUR_TE_MC4_ou	1 pç
CABO SOLAR 6 mm ² ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612	30 m
CABO SOLAR 6 mm ² ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612	30 m

Fonte: Próprio Autor, 2019

4.5 ESTIMATIVA MENSAL DE GERAÇÃO

Através de simulação realizada na Plataforma Sices Solar foi obtida a estimativa de geração mensal para este sistema, como mostrado na Tabela 5. A geração anual para a análise de viabilidade econômica foi encontrada com a soma destes valores, resultando em 4905 kWh.

Tabela 5 - Estimativa mensal de geração em kWh por mês

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
431	399	434	392	386	339
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
361	406	425	459	437	436

Fonte: Sices Solar, 2019

4.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar a análise de viabilidade econômica foram feitas algumas considerações, primeiramente foi considerado o tempo de vida útil do projeto igual ao tempo de garantia do inversor utilizado, que é de 10 anos, com o objetivo de simular sem a entrada de novos custos ao projeto caso haja necessidade de adquirir outro, já que os outros componentes apresentam uma garantia maior, como no caso dos módulos fotovoltaicos que possuem garantia de 25 anos.

Tabela 6 - Valor total do projeto

Descrição	Valor (R\$)
Equipamentos	17.578,68
Projeto + Instalação	2.214,88
Frete	879,99
Total R\$ 20.673,54	

Fonte: Próprio Autor

O sistema fotovoltaico dimensionado neste capítulo custa R\$ 20.673,54 como mostrado na Tabela 6 e possui geração anual de 4905 kWh, será considerada uma diminuição na eficiência de 10% durante o tempo de vida útil do projeto. Para o estudo da viabilidade será considerado o valor de R\$ 0,862 do kWh junto aos impostos com reajuste anual de 7%. A Tabela 7 mostra os valores atribuídos para dar início aos cálculos de viabilidade.

Tabela 7 - Fluxo de caixa do projeto durante 10 anos

Ano	Tarifa kWh + Impostos (R\$)	Economia Anual (R\$)	Depreciação (%)	Economia Anual com Depreciação (R\$)
2019	0,862	4228,11	1,0	4185,82
2020	0,922	4522,41	2,0	4431,96
2021	0,987	4838,98	3,0	4693,81
2022	1,056	5177,71	4,0	4970,60
2023	1,129	5540,15	5,0	5263,14
2024	1,209	5927,95	6,0	5572,27
2025	1,293	6342,91	7,0	5898,90
2026	1,384	6786,91	8,0	6243,95
2027	1,481	7262,01	9,0	6608,43
2028	1,584	7770,34	10,0	6993,30

Fonte: Próprio Autor

4.7 VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Valor Presente Líquido é um método matemático-financeiro que possui a capacidade de determinar o valor presente de pagamentos futuros com a aplicação de uma taxa de juros adequada, subtraindo o valor do investimento inicial. A análise é feita da seguinte maneira:

- VPL positivo, o investimento é considerado vantajoso;
- VPL negativo, o investimento não deverá ser considerado.

Quanto maior o VPL, mais atrativa torna-se a proposta. Matematicamente o VPL é definido da seguinte maneira:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad 4.12$$

Em que:

I : Investimento inicial;

FC_t : é o fluxo de caixa no período t ;

k : é o custo do capital;

n : é o número de períodos t .

Com isto, o VPL dirá quando os futuros pagamentos, somados ao investimento inicial, estariam valendo atualmente já que o valor do dinheiro no tempo é variável. Um montante de dinheiro nos dias atuais não terá o mesmo poder de compra em alguns anos.

Tabela 8 - Valores atuais dos retornos anuais

Ano	Valor atual (R\$)	Ano	Valor atual (R\$)
2019	3.911,98	2024	3.713,03
2020	3.871,04	2025	3.673,53
2021	3.831,54	2026	3.634,03
2022	3.792,04	2027	3.594,54
2023	3.752,54	2028	3402,53

Fonte: Próprio Autor

Os valores presentes na Tabela 8, representam os valores futuros de acordo com o custo do capital aplicado de 7%. O valor do VPL encontrado para este projeto é positivo e igual a R\$ 16.655,83, confirmando que para o cenário escolhido é um projeto que tem viabilidade econômica.

4.8 TAXA INTERNA DE RETORNO – TIR

A TIR mostra o retorno sobre o investimento. Em outras palavras, corresponde à taxa de lucratividade esperada dos investimentos em um projeto. Diferente do VPL, a TIR não avalia a rentabilidade do projeto, senão encontra uma taxa intrínseca de rendimento.

A TIR é uma taxa hipotética que anula o VPL, como mostra a equação a seguir:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad 4.13$$

A análise é feita comparando o valor da TIR com o custo do capital.

- Se $TIR > k$, projeto é viável;
- Se $TIR < k$, projeto é inviável.

Através do Excel foi obtido o valor da TIR, que é aproximadamente igual a 20,64%, sendo maior que o k , que foi definido com o valor de 7%, mostrando assim a viabilidade do projeto com o cenário escolhido para a análise.

4.9 PAYBACK

O payback é uma técnica de análise de investimento utilizada pra calcular o tempo no qual o investimento inicial e o lucro acumulado oriundo desse investimento se igualam. O payback é calculado utilizando a seguinte equação:

$$P = \frac{I}{Re} \quad 4.14$$

Para este caso, como o investimento inicial e a receita gerada foram calculadas com o período expresso em anos, o Payback obtido foi de aproximadamente 6 anos, com isto, a partir do sexto ano o projeto começa a gerar lucros, o que atesta a sua viabilidade.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho, apresentou um resultado viável economicamente para o caso em questão, possibilitou fazer uma análise de como um sistema fotovoltaico pode reduzir a necessidade da compra de energia elétrica da distribuidora, assim como obter lucro a partir dele. Além do que já foi citado, foi de grande importância para o estudo da geração energia solar e do funcionamento dos componentes desses sistemas, como módulos fotovoltaicos, inversores, condutores e dispositivos de proteção, sem esquecer da compensação de energia elétrica que gera créditos com a distribuidora.

Atualmente o Brasil vem crescendo no mercado da energia solar, graças aos investimentos em pesquisas e redução no valor dos equipamentos, mas ainda tem muito para ser feito, como a redução de impostos e conscientização da população em seus benefícios, como a utilização de uma fonte inesgotável que é o sol e toda a sua emissão de poluente se dá na fase industrial.

Este estudo de caso comprova a viabilidade econômica do projeto pelos métodos de Engenharia Econômica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia solar - conceitos e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- [2] ALVARENGA, D.; MELO, L. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. G1, 2017. Disponível em: <<http://https://g1.globo.com/economia/educacao-financeira/noticia/ibovespa-foi-melhor-investimento-em-2017-veja-ranking-de-aplicacoes.ghtml>>.
- [3] PINHO, J.; GALDINO, M. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.
- [4] ANEEL, C. T. *Micro e minigeração distribuída. Sistema de compensação de energia elétrica*. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2014.
- [5] CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.
- [6] NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA. NDU 001: Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária, 2015, Disponível em:
< www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/ndu001.pdf >
- [7] NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA. NDU 013: Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição da energisa – Conexão em baixa tensão, 2015, Disponível em:
<www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/ndu013.pdf>